



## **IL PROGETTO ISES: INTRUSIONE SALINA E SUBSIDENZA DEL BACINO SCOLANTE MERIDIONALE DELLA LAGUNA DI VENEZIA.**

**Laura Carbognin e, Luigi Tosi**  
**Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse - CNR, Venezia**

**Pietro Teatini**  
**Dipartimento di Metodi e Modelli Matematici**  
**per le Scienze Applicate - Università di Padova**

### **Introduzione**

Il Progetto ISES (Intrusione Salina E Subsidenza) nasce nel 1999 per iniziativa congiunta della Provincia di Venezia e del CNR-ISDGM con lo scopo di approfondire gli studi relativi ai processi di intrusione di acque saline nel sottosuolo e di subsidenza che coinvolgono in modo assolutamente preoccupante molte aree del bacino scolante meridionale della laguna di Venezia. ISES è finanziato dalle Province di Venezia e Padova; dal Comune di Chioggia; dal CNR; dal Magistrato alle Acque di Venezia; dai Consorzi di Bonifica Adige-Bacchiglione, Bacchiglione-Brenta, e Delta Po-Adige ed è patrocinato dall'Autorità di bacino del Fiume Adige e dal Consorzio di Bonifica Polesine-Adige Canal Bianco.

L'area di studio ISES appartiene dunque al bacino scolante meridionale, ma per quanto concerne l'altimetria è stato possibile quotare e analizzare l'intera rete di livellazione che si estende nel territorio.

### **Sottoprogetto Intrusione Salina**

Il problema della salinizzazione delle acque sotterranee è presente in quasi tutto il comprensorio meridionale veneziano e nella Provincia di Padova relativamente all'area prospiciente il margine lagunare, con particolare gravità nei settori interessati dalle più recenti bonifiche. Qui il processo naturale dell'intrusione di acque saline dovuta alla vicinanza del mare e della laguna è aggravato da una serie di fattori quali: la quota critica del territorio, fino a quattro metri sotto il livello del mare; i pompaggi delle idrovore, indispensabili per mantenere il franco di bonifica; la dispersione dai fiumi Adige, Brenta, Bacchiglione e canali Valle e Gorzone di acqua marina e lagunare che li risale per parecchi chilometri durante la fase crescente di marea e/o nei periodi di magra [1].

Oltre alle falde superficiali sono soggette a contaminazione salina anche quelle profonde a causa della presenza di acque fossili in tutto il comprensorio Veneziano [2]. Gli obiettivi dello studio sono quelli di: a) valutare l'estensione e la gravità del processo, b) determinare i meccanismi che lo originano e c) istituire una rete di monitoraggio degli acquiferi e della rete idrografica che consenta di gestire in modo appropriato le risorse idriche. Per la valutazione dell'estensione della contaminazione salina sono stati utilizzati oltre 250 Sondaggi Elettrici Verticali, di cui 170 di nuova esecuzione, e diverse centinaia di determinazioni del tenore salino dell'acqua di pozzi freatici ed artesiani, nonché di fiumi, canali e scoli attraverso misure di conducibilità elettrica e temperatura. Il censimento dei pozzi (circa 500) e quello delle stratigrafie (circa 600) hanno inoltre integrato le informazioni acquisite in sito. Mediante sondaggi a carotaggio continuo, sono stati successivamente installati 22 piezometri a profondità comprese tra 15 e 25 m, uno a profondità di 50 e due a 100 m. Questi ed altri pozzi-piezometri selezionati tra quelli censiti costituiscono la nuova rete di monitoraggio delle acque sotterranee che è composta da circa 100 punti di controllo. Per quanto riguarda la rete di monitoraggio delle acque superficiali, questa è costituita da 142 punti di primo ordine per il monitoraggio annuale e da 55 punti di secondo ordine per quello stagionale. I risultati dello studio preliminare hanno evidenziato che il settore litoraneo e quello di entroterra presentano entità e modalità di propagazione della contaminazione salina differenti.



Nella fascia litoranea, costituita principalmente da sabbie di dune eoliche e di antichi cordoni litoranei, risiede una lente di acqua dolce di 5-10 m di spessore che contrasta la risalita dell'acqua salata. Al di sotto la contaminazione salina è generalmente presente fino a 60-70 m (primo/secondo acquifero del sistema multifalde artesiani) e, per le acque fossili, oltre i 200-300 m. Nel settore di entroterra invece, lo spessore dell'acqua dolce nella falda freatica è frequentemente ridotto a meno di 1-2 m a causa dall'altimetria critica del territorio, dall'incremento del franco di bonifica e dalla dispersione dai fiumi e canali dell'acqua di marea.

### **Sottoprogetto Subsidenza**

Oggi, dopo 30 anni di studi sperimentali e teorici sulla subsidenza del comprensorio veneziano, la fenomenologia è nota sotto ogni aspetto, le relazioni causa-effetto sono state quantificate, esplicitando la responsabilità dell'estrazione di acque sotterranee, operata negli anni '950 – '960. E' noto altresì che la quiescenza e l'arresto del fenomeno di subsidenza indotta dopo il 1970, sono collegabili alla chiusura dei pozzi artesiani industriali e alla diversificazione di approvvigionamento idrico [3]. Nel 1993, nell'ambito del "Progetto Sistema Lagunare Veneziano" è stato possibile eseguire una livellazione di alta-altissima precisione che, seguendo le linee Treviso-Mestre-Venezia-Centro Storico-circumlagunare, ha effettuato lo stesso percorso della livellazione CNR 1973, l'ultima ad avere coperto l'intero comprensorio. Il confronto dell'altimetria 1993 con quella del 1973 ha permesso di fare un'analisi completa sulla subsidenza esplicitata nel territorio veneziano in questi vent'anni. Una prima visione sinottica del fenomeno è fornita dalla mappa delle linee di isosubsidenza, ricostruita per l'intero comprensorio (Fig. 1a). Appare evidente che esiste un'area stabile, comprendente le zone di terraferma da Treviso a Mestre, quelle di gronda nonché il centro storico, e un'area più propriamente lagunare-litorale (circumlagunare Nord e circumlagunare Sud) dove l'abbassamento del suolo non è trascurabile, benché i tassi di subsidenza relativi al periodo 1973-1993 non siano paragonabili per gravità a quelli del precedente ventennio critico 1950-1970. Si ricorda che queste aree sono in parte bonificate, in parte interessate dalla sedimentazione deltizia, e sede ancora oggi di localizzati sfruttamenti di acque sotterranee [4, 5, 6]. Nel 2000, nell'ambito del Progetto ISES, a seguito dell'istituzione di una nuova rete di livellazione e di misure GPS è stata riquotata l'intera rete esistente [7]. La nuova rete di monitoraggio altimetrico si sviluppa in di due zone: la zona Sud, dove le linee di livellazione sono di nuova istituzione, e la zona Nord, riferita alle esistenti linee del settore circumlagunare settentrionale. L'intera a rete, che sarà la rete di riferimento altimetrico ufficiale per le livellazioni future del comprensorio Veneziano-Padovano, è composta da 53 linee, che formano 34 poligoni chiusi autocontrollati e 6 linee di livellazione a sbalzo per un totale di 775 km di estensione. In totale nel 2000 sono stati livellati 870 capisaldi, e su 119 di questi sono state effettuate contemporaneamente anche misurazioni DGPS. La rete ha come punti di riferimento tre settori storicamente ritenuti stabili: i Colli Euganei, Treviso e le Colline Trevigiane (Fig. 2). L'analisi dei movimenti verticali 1993-2000 (Figura 1b) da un lato conferma la stabilità del settore centrale della laguna e della città di Venezia, ricalcando di massima l'andamento 1973-1993 sopra descritto, dall'altro evidenzia aumentati tassi di subsidenza nei settori litorali di Cavallino e Jesolo [8, 9]. Questo recente incremento sembrerebbe correlato all'aumento dello sfruttamento artesiani localizzato in questo settore. Meno critica ma da mantenere sotto osservazione è invece la subsidenza del litorale di Lido mentre quello di Pellestrina sembra aver beneficiato degli estesi interventi di consolidazione e recupero e si presenta stabile (Fig. 3). La subsidenza dei settori litoranei, con particolare riferimento al tratto settentrionale, potrebbe comportare anche l'aumento dei processi erosivi dei bassi fondali, peraltro già emerso nel 1992 quando si era osservato come ai punti di maggior subsidenza litoranea corrispondesse un certo incremento di pendenza dei fondali (fino all'isobata dei 5 m) [5]. Nell'area del margine meridionale dove non mancano evidenze del processo di subsidenza (Figura 4) è da segnalare la permanenza di un picco di subsidenza in prossimità della zona di "Valli". Le cause non sono state ancora ben definite e quantificate; si ipotizzano tra l'altro sia fenomeni di perdita di massa nei terreni superficiali a causa dell'ossidazione delle torbe, particolarmente abbondanti in quest'area di bonifica, sia fenomeni neotettonici. L'abbassamento di questo settore ne aggrava



particolarmente la già critica situazione di rischio idrogeologico (esondazioni, intrusione salina, ecc.).

### Osservazioni conclusive

Benché il progetto ISES nella sua interezza non sia alla data odierna totalmente concluso, si può affermare che gli obiettivi programmati siano stati raggiunti. Il *Sottoprogetto Subsidenza* è completamente concluso. La nuova rete di monitoraggio altimetrico, omogenizzata su tutto il comprensorio veneto-padovano, è stata istituita in modo tale da fornire agli utenti la possibilità di eseguire futuri monitoraggi di aree ristrette in modo rapido ed economicamente vantaggioso, sebbene metodologicamente ineccepibile, velocizzando il collegamento con i capisaldi stabili di riferimento attraverso l'uso del GPS. Il raffittimento della rete, con numerosi nuovi capisaldi in aree precedentemente scoperte, consente il monitoraggio della subsidenza in zone o punti critici dove fino ad oggi il trend di abbassamento poteva essere solamente stimato. Inoltre la rete altimetrica ISES è una base di appoggio univoca per la restituzione cartografica ed un punto di riferimento ottimale per la rete mareografica; infine, potrà costituire la *baseline* di riferimento per il controllo dell'influenza di nuovi interventi antropici, quali ad esempio le ipotizzate estrazioni di gas metano al largo della costa adriatica. I risultati delle prime misure eseguite sulla nuova rete confrontate, ove possibile, con i rilievi pregressi hanno permesso di individuare le zone maggiormente critiche (aree estreme lagunari e alcuni tratti litoranei) dove il controllo dovrà essere eseguito con frequenza maggiore rispetto all'intero comprensorio. Il *Sottoprogetto Intrusione Salina* è terminato per quanto concerne le operazioni di campagna, ma non è concluso non essendo stato possibile a tutt'oggi elaborare i dati nella loro totalità. Dall'interpretazione preliminare congiunta delle indagini geoelettriche e delle misure del tenore salino nelle acque di falda sono stati osservati i seguenti punti:

- Il settore meno sensibile al problema della contaminazione salina è quello più settentrionale tra i fiumi Brenta e Bacchiglione, ove, ad eccezione di una ristretta fascia a ridosso del margine lagunare, non è presente acqua salata.
- In località Valli la situazione risulta invece critica: il tetto dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata è prossimo al p.c. e lo spessore dell'acqua dolce spesso è limitato a circa 1m.
- Nelle aree orticole costiere, le caratteristiche geomorfologiche della fascia litoranea consentono l'accumulo di una lente di acqua dolce che generalmente riesce a contrastare l'intrusione salina.
- La zona compresa fra la laguna - Canale Nuovo dei Cuori-Canale Garzone presenta forti variazioni dello spessore del cuneo salino e molto spesso da meno di 5 m si riduce a pochi decimetri (Corte Valgrande). Anche nella zona più meridionale di indagine, a ridosso del fiume Adige e a occidente rispetto al Canale di Valle, il tetto del cuneo salino è piuttosto prossimo al p.c. e da 8 m sale fino a meno di 2m.
- Nella zona di Arre (Provincia di Padova), la più occidentale tra quelle indagate, vi è, a sorpresa, un potente banco di terreni contaminati da acqua salata: potrebbe quest'ultima essere stata richiamata a pochi m dal p.c. da emungimenti di acqua dolce dalla falda freatica impostata su un alto morfologico di un paleoalveo.

Attualmente è in corso l'elaborazione di tutti i dati per la valutazione di dettaglio dell'estensione sia areale che in profondità del fenomeno dell'intrusione salina.

Anche per quanto concerne le reti di monitoraggio delle acque sotterranee e di quelle superficiali (così come per la rete altimetrica), esse potranno essere mantenute efficienti ed essere utilizzate per futuri monitoraggi dagli Enti preposti alla gestione ambientale di questi territori.

### Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare le Amministrazioni che hanno finanziato il Progetto ISES: le Province di Venezia e di Padova, il Comune di Chioggia, il Magistrato alle Acque ed i Consorzi di Bonifica Adige-Bacchiglione, Bacchiglione-Brenta, Delta Po-Adige.



Un ringraziamento particolare per la loro preziosa collaborazione alla realizzazione del progetto al Dott. Andrea Vitturi, all'Ing. Roberto Rosselli, all'Ing. Giuseppe Gasparetto-Stori, al Dott. Paolo Spagna e alla P.I. Annamaria Licini facenti parte il Gruppo Ristretto di Lavoro, ed ai collaboratori per le indagini i Dott. RI Enrico Farinatti, Valentina Bassan, Piero Zangheri, Enrico Conchetto e Vittorio Bisaglia.

## Bibliografia

- [1] Galgaro A. e Tosi L. (1999): “*Studio dell'intrusione salina negli acquiferi costieri del comprensorio meridionale veneziano: risultati preliminari*”, *Geologia Tecnica & Ambientale*, N. 2, 39 - 45.
- [2] Bixio A.C., Putti M., Tosi L., Carbognin L. and Gambolati G. (1998): “*Finite Element Modeling of Salt water Intrusion in the Venice Aquifer System*”, in *Computational Mechanics Publications, Proc. XII Int. Conference on Computational Methods in Water Resources (CMWR XII '98)*, Creta, Giugno 1998, Eds. Burganos V. N., G.P. Karatzas, A.C. Payatakes, C.A. Trebbia, W.G. Gray and G.F. Pinder, Vol. 2, 193-200.
- [3] Carbognin L. and Gatto P. (1984): “*An overview of the subsidence of Venice*”, I.A.H.S. Publ. n. 151 (Proc. Third International Symposium on Land Subsidence, Venezia, Italy, 19-25 Marzo 1984), Eds. Carbognin L., Johnson A.I. and Ubertini L., 321-329.
- [4] Carbognin L., Teatini P. and Tosi L. (1995): “*Analysis of actual land subsidence in Venice and its hinterland*”. In: *Land Subsidence*, Eds. Barends, Brouwer & Schroeder, A.A. Balkema, Rotterdam, (The Netherlands) 129-137.
- [5] Carbognin L., Marabini F. and Tosi L. (1995): “*Land subsidence and degradation of the venetian litoral*”. Keynote lecture. I.A.H.S. Publ. n. 234 *Land Subsidence* (Proc. Fifth International Symposium on Land Subsidence, Oct. 16-20, 1995, The Hague, The Netherlands). Barends, Brouwer & Schroeder (eds), 391-402.
- [6] Carbognin L., Gambolati G., Marabini F., Taroni G., Teatini P. e Tosi L. (2000): “*Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare*”, Istituto Veneto di Lettere Scienze ed Arti, la Ricerca Scientifica per Venezia, Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Vol. II, Tomo II, Modellistica del Sistema Lagunare - Studio di Impatto Ambientale, 1017-1048.
- [7] Tosi L., Carbognin L., Teatini P., Rosselli R. and Gasparetto Stori G. (2000): “*The ISES Project subsidence monitoring of the catchment basin south of the Venice Lagoon (Italy)*”. In *Land Subsidence Vol. II* (Proc. of the Sixth Int. Symp. on Land Subsidence, Ravenna, Italy, Sept. 24-29, 2000), Eds. Carbognin L., Gambolati G. and Johnson A. I., 113-126.
- [8] Carbognin L., Teatini P. e Tosi L. (2001): “*Relative land subsidence in the Lagoon of Venice, Italy, at the beginning of the new millennium*” International Project “Expert Assessment of Land Subsidence Related to Hydrogeological and Engineering Geological Conditions”, UNESCO and Bulgarian Academy of Science, Proceedings of Final Conference, June 27-30, 2001, Sofia, Bulgaria, 7-14.
- [9] Tosi L., Teatini P., Strozzi T., Carbognin L., Wegmüller U. (2002): “*Evidence of the present relative land stability of Venice, Italy, from land, sea, and space observations*” *Geophys. Res. Letters* (in press).

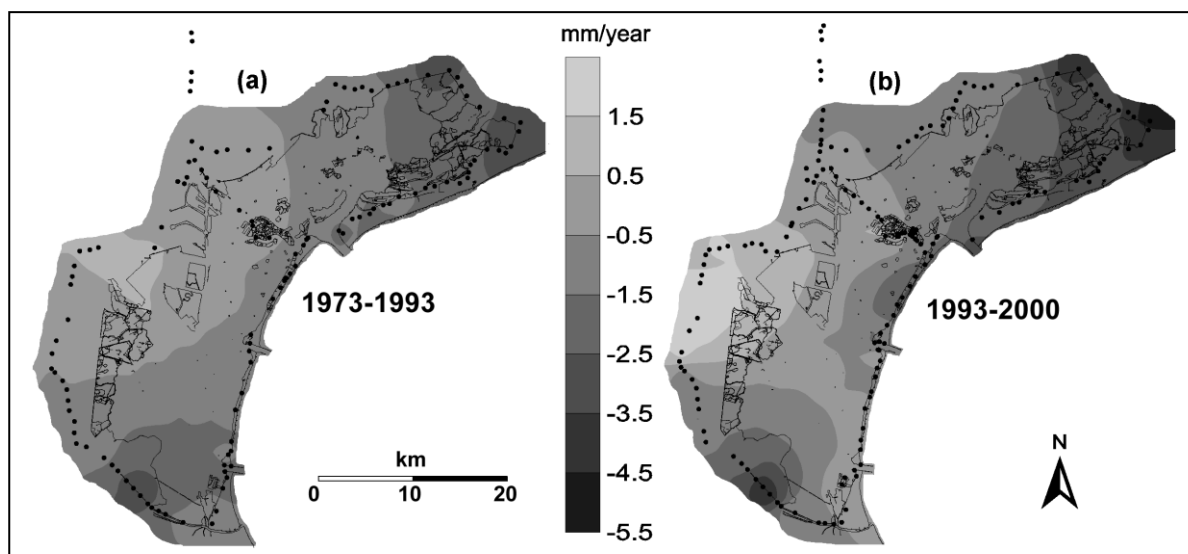


Fig. 1 - Variazioni altimetriche (in mm/anno) per I periodi 1973 - 1993 (a) e 1993-2000 (b) [8] .



Fig. 2 - Progetto ISES: schema della rete di monitoraggio altimetrico e dell'area di interesse del sottoprogetto Intrusione Salina.

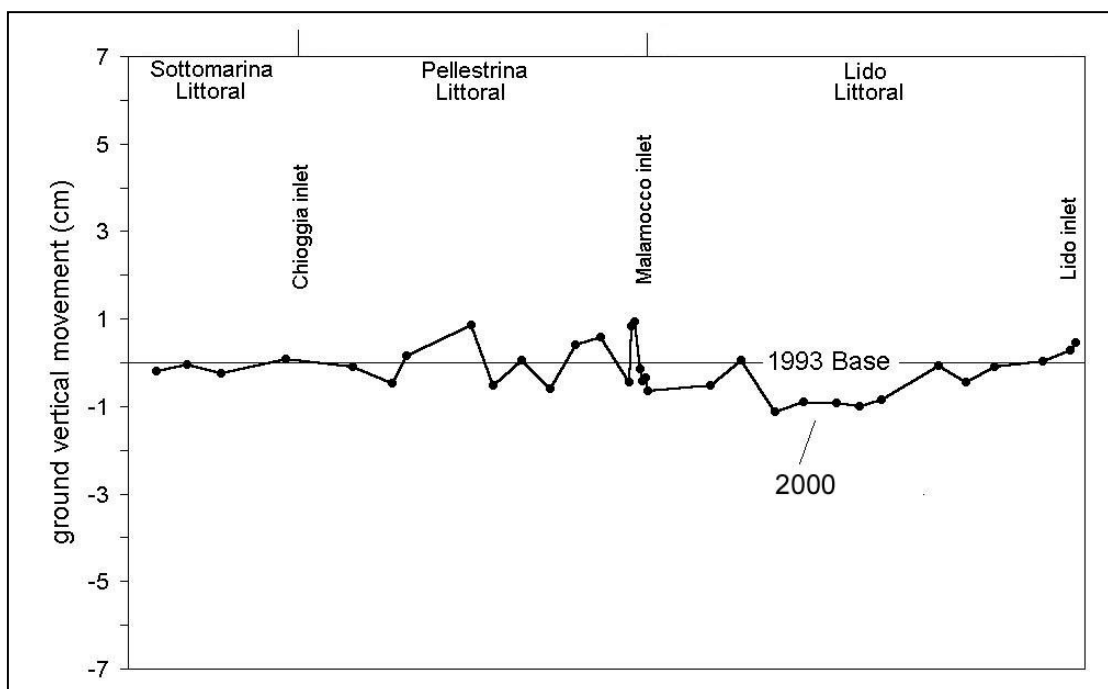


Fig. 3 - Variazioni altimetriche 1993-2000 lungo i litorali di Sottomarina, Pellestrina e Lido [7].

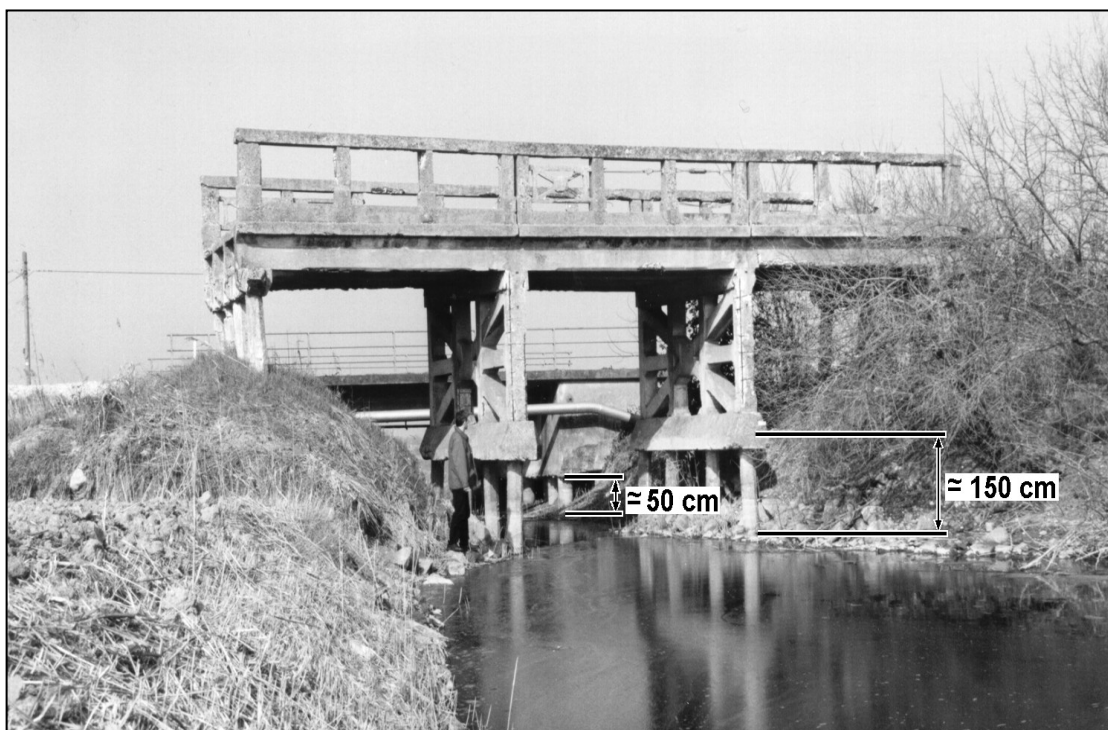


Fig. 4 - Effetti della subsidenza nel comprensorio meridionale della provincia di Venezia [7]. In primo piano un vecchio ponte costruito negli anni '920 con i piloni estrusi per oltre 150 cm; sullo sfondo quello ricostruito negli anni '970 che mostra l'estrusione dei piloni per circa 50 cm.